

광 디스크 아카이브 시스템에서 디스크 삽입 상태의 동적 특성 분석 및 시뮬레이션 모델 검증

Dynamic Analysis and Validation of a Simulation in an Optical Disc Archive System During Disk Inserting

윤주영* · 오원석* · 박노철† · 박영필*

Joo Young Yoon, Wonseok Oh, No-Cheol Park and Young-Pil Park

(Received July 5, 2016 ; Revised August 25, 2016 ; Accepted September 2, 2016)

Key Words : Optical Disc Archive System(광 디스크 아카이브 시스템), Disc Storage(디스크 보관), Disc Insertion(디스크 삽입), Multi-bent Leaf Spring(다중 굽힘 판 스프링)

ABSTRACT

In an optical disc archive system, disc insertion process is an important part. Furthermore, dynamic analysis with the contact area between multi-bent leaf spring and a disc should be considered because the contact area is moved when the disc is inserted into the cartridge. In this paper, a finite element model of disc insertion was constructed based on dynamic characteristics, vertical stiffness, and dynamic response. The disc insertion model was validated with the experimental results. To identify the dynamic response of the disc induced by the changed contact area, applied force to the disc and the stiffness of the multi-bent leaf spring were analyzed. As the results, the factors which cause the failure of the disc insertion were investigated.

1. 서 론

대용량 정보 저장 시스템인 광 디스크 아카이브 시스템에는 비용과 정보 보존 능력 등에서 하드 디스크 드라이브(HDD)보다 좋은 성능을 가지고 있는 블루레이 디스크(BD) 드라이브가 정보 저장 기기로 사용된다⁽¹⁾. 고정식 미디어인 HDD와 달리 탈착식 미디어 디스크를 사용하는 광 디스크 아카이브 시스템에는 Fig. 1과 같이 데이터를 기록/재생하는 BD 드라이브와 기록된 디스크를 보관하는 카트리지가 사이에 이송로봇을 설치하여 디스크를 교환한다. 이송로봇의 속도는 시스템의 성능에 영향을 미치므로 이

를 높이기 위한 연구가 수행되었다⁽²⁾. 그러나 로봇이 디스크를 카트리지에 삽입하는 과정에서 불완전 삽입이 발생할 경우 시스템이 중단되거나 로봇과 디스크의 충돌로 인한 디스크가 손상될 위험이 있어 삽입과정에서의 디스크의 동적 거동을 분석하고 이를 삽입성능 개선에 활용할 필요가 있으나 이에 대한 연구는 이루어지지 않았다.

카트리는 Fig. 2와 같이 상하의 다중 굽힘 판 스프링으로 이루어져 있으며, 이송로봇이 디스크를 카트리지에 삽입함으로써 판 스프링의 변형되고 이후 적정한 위치에서 로봇이 디스크를 놓아 주면 스프링의 복원력에 의해 디스크가 카트리지내의 최종 보관 위치로 이동된다. Fig. 2는 복수의 디스크를 보

† Corresponding Author, Member, Dept. of Mechanical Engineering, Yonsei University
E-mail : pnch@yonsei.ac.kr
* Dept. of Mechanical Engineering, Yonsei University

‡ Recommended by Editor Gi-Woo Kim

© The Korean Society for Noise and Vibration Engineering

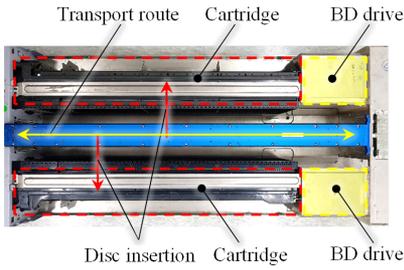


Fig. 1 Schematic diagram of the disc insertion and transport in the optical disc archive system

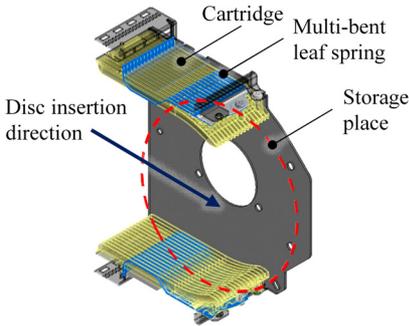


Fig. 2 Schematic diagram of the optical disc archive system about disc insertion

관할 수 있는 카트리지를 도시한 것이고 시스템에는 이러한 카트리지의 다수 조립되어 있어 최대 250매의 디스크를 보관할 수 있다.

디스크의 삽입과 보관과정에서 판 스프링은 가장 중요한 역할을 하므로, 다중 굽힘 판 스프링의 형상과 강성이 디스크 삽입 거동에 미치는 영향을 정확히 파악할 필요가 있으나 디스크 보관용 카트리지의 판 스프링에 대한 관련 연구는 이루어지지 않고 있다. 그러나 다양한 응용에서 판 스프링에 대한 연구는 활발히 진행되고 있다. 최명환 등은 접촉해석을 고려한 유한요소 해석모델을 사용하여 원자로 내에서 8개의 판 스프링으로 지지된 연료봉의 진동특성을 파악하였고⁽³⁾, 전정우 등은 이중 굽힘 판 스프링을 이용하여 나노 스캐너의 성능을 향상시켰다⁽⁴⁾. Shan 등은 다중 굽힘 판 스프링의 형상에 따른 탄성 에너지의 변화를 분석하였고⁽⁵⁾, Nguyen 등은 고차원 보 이론을 이용하여 직각으로 구부러진 단일 굽힘 판 스프링에 작용하는 힘과 끝 부분의 변형 사이의 관계를 수식화하였다^(6,7).

이와 같이, 기존의 연구는 주로 특정 지점에서 다중 굽힘 판 스프링의 변형과 강성 분석에 국한되어 있으나, 디스크가 보관장소로 삽입되면서 다중 굽힘 판 스프링과 디스크가 접촉하는 지점이 동적으로 변하므로 이에 대한 고려가 필요하다. 따라서 이 연구에서는 디스크 삽입 상태의 동적 특성을 분석하기 위하여, 이동하는 접촉지점에 대한 다중 굽힘 판 스프링의 변형과 강성을 고려하였다. 이를 위해, 디스크 삽입 상태를 해석할 수 있는 시간이력해석 모델을 구축하였고, 부품의 동특성과 다중 굽힘 판 스프링의 수직 강성, 디스크의 동적 응답을 측정하는 실험을 통하여 시간이력해석 모델을 검증하였다. 수치해석결과를 바탕으로 디스크 삽입 상태에서 디스크와 다중 굽힘 판 스프링의 동적 특성을 분석하였다. 또한 디스크가 보관장소에 확실하게 삽입되지 않는 원인과 해결 방안을 제시하였다.

2. 디스크 삽입 과정

광 디스크 아카이브 시스템에서 디스크 삽입과 관련된 부품들은 Fig. 2와 같이 구성되어 있다. 앞서 설명했듯이 디스크 삽입과 관련된 부품들은 크게 카트리지와 다중 굽힘 판 스프링, 이송 로봇으로 구성되어 있다. 다중 굽힘 판 스프링은 위와 아래에 위치하고 있으며, 끝 부분이 카트리지에 볼트로 고정되어 있다. 또한 다중 굽힘 판 스프링은 디스크의 삽입과 보관을 제어하기 위해, 3번 구부러진 형상으로 이루어져 있다. 총 25개의 다중 굽힘 판 스프링은 1개의 부품으로 이루어져 있어, 1개의 카트리지에 25개의 디스크가 보관될 수 있도록 설계되었다.

디스크는 이송 로봇에 의해 일정한 속도로 다중 굽힘 판 스프링을 위와 아래로 밀어내면서 보관장소에 삽입된다. 이 때, 디스크와 스프링의 접촉지점이 보관장소 방향으로 이동하여 디스크가 스프링에 가하는 힘의 위치도 이동하게 된다. 따라서 다중 굽힘 판 스프링은 접촉 지점에서 가해지는 힘에 의하여 변형이 일어난다. 디스크가 Fig. 2와 같이 보관장소에 도달하면, 다중 굽힘 판 스프링의 탄성 복원력과 카트리지의 구조적 형상으로 인해 디스크는 고정되어 보관된다.

3. 수치해석모델 구축 및 검증

3.1 수치해석모델 구축

실제 카트리지는 Fig. 2와 같이 25개의 디스크를 보관할 수 있도록 제작되어 있어 1개의 디스크가 삽입되는 해석을 진행하는데 불필요한 요소가 포함된다. 따라서 해석시간과 비용을 줄이기 위하여, Fig. 3과 같이 1쌍의 상하 다중 굽힘 판 스프링만을 포함하는 수치해석 모델을 구축하였다. 이송 로봇은 디스크를 일정속도로 밀어주는 역할을 하기 때문에 원판 형상으로 단순화하였다. 해석모델은 약 13 000 개의 solid 185 요소로 구축되었으며, Table 1은 각 부품의 물성치를 나타낸다.

3.2 수치해석 모델 검증

이 연구에서 구축한 디스크 삽입 해석모델의 검증을 위하여 각 부품의 동특성과 다중 굽힘 판 스프링의 수직 강성, 디스크의 동적 응답을 해석을 통해 구하고 이를 실험결과와 비교하였다.

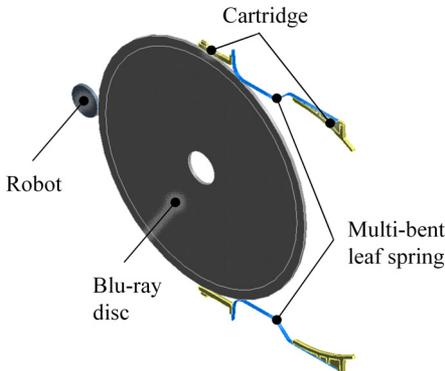


Fig. 3 Schematic diagram of the slice finite element analysis model

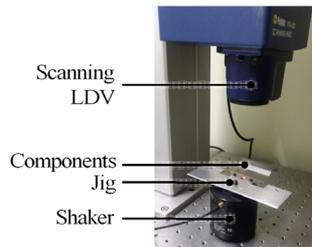
Table 1 Properties of each component: cartridge, multi-bent leaf spring, and disc

Component	Density (kg/m ³)	Young's modulus(GPa)	Poisson's ratio
Cartridge	1063.7	1.6	0.3
Multi-bent leaf spring	8122.5	203.0	0.29
Disc	1353.7	6.8	0.3

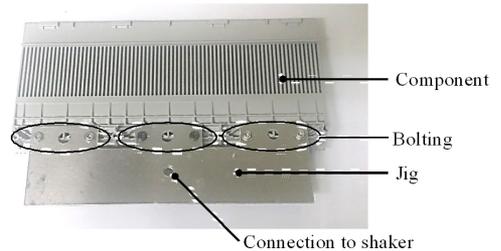
(1) 동특성

카트리지와 다중 굽힘 판 스프링에 대한 실험모드해석(EMA)을 Fig. 4(a)와 같이 scanning LDV를 이용하여 수행하였다. 실제 카트리지와 다중 굽힘 판 스프링은 볼트로 결합되어 있으므로, Fig. 4(b)와 같이 같은 경계조건을 갖도록 각 부품들을 볼트로 결합할 수 있는 지그를 제작하였다.

각 부품과 지그, 가진기를 볼트로 고정하였고, 가진기를 이용하여 넓은 범위의 주파수 대역으로 가진하였다. 카트리지와 다중 굽힘 판 스프링의 응답을 스캐닝 LDV를 이용하여 수십 개의 지점에서 측정하였다. 25개의 다중 굽힘 판 스프링을 모두 측정하지 않고, 1차 모드형상과 2차 모드형상을 확인할 수 있는 5개의 판 스프링을 측정하였다. 카트리지와 다중 굽힘 판 스프링의 1차와 2차 모드형상에 대한 실험과 해석결과를 Fig. 5에 나타내었다. 왼쪽 그림은 모달 해석 결과를 나타내고, 오른쪽 그림은 EMA 결과를 나타낸다. 디스크는 원판 형태로 구조적 형상이 복잡하지 않고 단순하므로, 디스크의 동특성은 주파수 응답 함수를 이용하여 확인하였다. 디스크를 자유단 상태에서 임팩트 해머를 이용하여 가진시켰고, 가속도계를 이용하여 디스크의 응답을 측정하였다. Table 2는 카트리지와 다중 굽힘 판 스프링



(a) Experimental setup of EMA



(b) Combination of jig with component

Fig. 4 Experimental modal analysis of the cartridge and multi-bent leaf spring

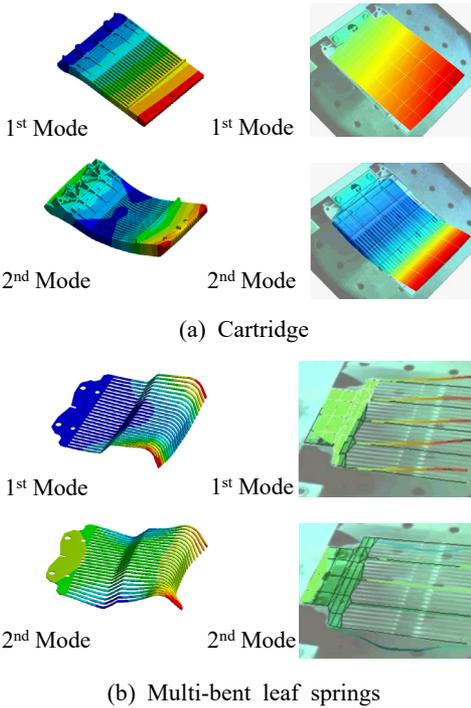


Fig. 5 First and second mode shapes of component

프링, 디스크의 1, 2차 모드의 고유진동수를 나타내었다. 이 결과를 통해 각 부품들의 해석모델이 적절히 구축되었음을 알 수 있었다.

(2) 수직 강성

다중 굽힘 판 스프링은 탄성적인 특성으로 인하여 많은 변형이 일어나므로, 해석모델에는 스프링의 강성이 정확히 고려되어야 한다. 특히, 디스크가 삽입될 때, 다중 굽힘 판 스프링은 수직으로 변형이 크게 일어나므로, 수직 강성은 해석모델의 정확성을 높이는 데 중요하다.

다중 굽힘 판 스프링의 수직 강성을 측정하기 위하여, Fig. 6과 같이 고정지점으로부터 두 번째 굽힘 부분에 수직방향으로 0 N에서 1 N까지 힘을 증가시키며 가하였다. 힘의 크기에 따른 두 번째 굽힘 부분의 수직 변위를 측정하여 다중 굽힘 판 스프링의 수직 강성을 계산하였다. 실험으로 측정한 수직 강성은 0.2075 N/mm이다.

또한 수직 강성은 다중 굽힘 판 스프링의 동특성뿐만 아니라, 경계조건과 두께에도 영향을 받는다. 따라서 실험결과와 일치시키기 위하여, 경계조건과

Table 2 Natural frequencies of each component: cartridge, multi-bent leaf spring, and disc

Component	Mode	EMA (Hz)	FEA (Hz)	Error (%)
Cartridge	1st	107.5	115.4	7.3
	2nd	953.8	923.9	-3.1
Multi-bent leaf spring	1st	95.0	86.1	-9.4
	2nd	459.4	475.6	3.5
Disc	1st	173.8	175.7	1.1



Fig. 6 Experiment and transient analysis to measure the vertical stiffness of the multi-bent leaf spring

Table 3 Values of the vertical stiffness with (a) boundary condition, and (b) thickness

(a) Boundary condition ($t = 0.5 \text{ mm}$)		
Case	Stiffness(N/mm)	Error(%)
#1 (0mm)	0.2535	22.2
#2 (2mm)	0.2390	15.2
#3 (4mm)	0.2337	12.6
#4 (6mm)	0.2302	11.0
#5 (8mm)	0.2274	9.6
(b) Thickness(same fixed support)		
Thickness(mm)	Stiffness(N/mm)	Error(%)
0.5	0.2535	22.2
0.495	0.2047	-1.3
0.49	0.1332	-35.8

두께를 변화시키며 해석하였다. 경계조건은 각각의 다중 굽힘 판 스프링이 분리되는 지점을 기점으로 2 mm씩 고정지점을 감소시키며 수직 강성을 구하였다. 다중 굽힘 판 스프링은 0.5 mm의 두께로 설계되었지만, 실제로 측정한 두께는 0.47 mm에서 0.51 mm의 범위로 일정하지 않았다. 시간이력해석에서 제작 공차를 고려하여 설계하는 것은 어려우므로, 다중 굽힘 판 스프링의 두께가 일정하다고 가정하였고, 0.05 mm씩 감소시키며 수직 강성을 구하였다. Table 3은 경계조건과 두께에 따른 다중 굽힘 판 스프링의 수직 강성을 나타낸다. 이 결과를 통해

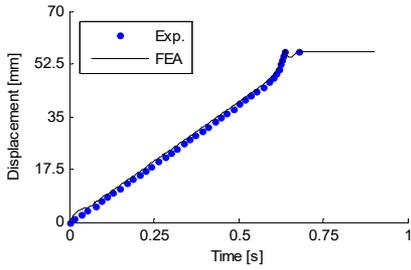


Fig. 7 Displacement of the disk in disc inserting

Table 4 Validation dynamic responses of the disk with experiment and finite element analysis

Validation	Experiment	FEA	Error (%)
#1 (s)	0.592	0.582	-1.7
#2 (m/s)	0.391	0.368	-5.9

수직 강성은 경계조건보다 두께에 더욱 민감한 것을 확인하였다. 따라서 경계조건은 실제 고정부분과 같은 넓이로 고정시켰고, 다중 굽힘 판 스프링의 두께가 0.495 mm로 일정한 해석모델을 구축하였다.

(3) 디스크 동적 응답

끝으로 디스크 삽입 과정에서의 디스크 동적 응답을 시간이력해석을 이용하여 구하고, 해석결과와 타당성을 검증하기 위하여 실제 디스크 삽입과정을 1250 frames/s 성능의 고속카메라를 이용하여 시간에 따른 디스크의 변위를 측정하였다. 고속카메라의 배율은 한 픽셀당 0.488 mm의 거리를 가지도록 조정하였고, 한 프레임 동안 디스크가 이동한 픽셀 수를 측정하여 디스크의 속도와 변위를 계산하였다. 디스크와 다중 굽힘 판 스프링이 처음 접촉하는 지점을 디스크의 초기위치로 설정하였고 시간이력해석 결과와 비교하여 Fig. 7에 나타내었다.

디스크는 0.6 s 전까지 이송 로봇에 의하여 79 mm/s의 속도로 다중 굽힘 판 스프링을 위/아래로 밀어내며 보관장소로 이동하였다. 다중 굽힘 판 스프링의 변형 형상으로 인하여 디스크가 삽입 방향으로 스프링의 복원력을 받는 구간이 존재하였고, 디스크의 속도가 증가하였다. 디스크는 보관장소에 도달하여 다중 굽힘 판 스프링과 카트리지에 의해 고정되었다. 시간이력해석모델을 검증하기 위하여 Table 4와 같이 디스크의 동적 응답을 실험결과와 비교하였다.

Table 4에서 #1은 디스크의 속도가 증가하기 시작하는 시간이고, #2는 디스크의 최대 속도를 나타낸다. 두 가지의 동적 응답 결과는 모두 6% 이내의 오차를 가졌다. 이 결과를 통해 이 연구에서 구축한 디스크 삽입에 관한 시간이력해석모델의 적합성을 검증하였다.

4. 디스크 삽입 상태의 동적 특성 분석

앞서 디스크 삽입 과정에서 설명했듯이, 디스크가 삽입될 때 다중 굽힘 판 스프링과 디스크의 접촉지점이 이동하게 된다. 디스크 삽입 상태의 동적 특성 분석을 위하여 접촉지점의 변화를 고려하여야 한다. 이 논문에서는 디스크의 이동거리에 따른 다중 굽힘 판 스프링의 복원력과 수직 강성, 디스크의 동적 특성을 분석하였다.

4.1 다중 굽힘 판 스프링의 복원력

디스크는 삽입되면서 다중 굽힘 판 스프링에 힘을 가하기 때문에, 스프링은 변형이 일어나게 된다. 디스크가 스프링에 작용하는 힘은 디스크와 스프링 접촉지점에 수직방향으로 작용하고, 스프링의 복원력은 반대 방향으로 작용한다. Fig. 8은 디스크 변위에 따른 위와 아래 다중 굽힘 판 스프링이 디스크에 의해 받는 힘을 나타낸다. 디스크의 변위가 증가할수록 스프링의 변형량은 증가해야 하기 때문에, 접촉지점에 작용하는 복원력의 크기가 증가하는 것을 확인할 수 있다. 스프링이 받는 힘의 크기는 디스크에 작용하는 중력으로 인해 아래쪽에 위치한 스프링이 위쪽에 위치한 스프링보다 더 큰 것을 알 수 있다. 디스크가 스프링에 가하는 힘의 방향은 위쪽에 위치한 스프링의 경우 디스크의 변위가 증가할수록 각도가 증가하였고, 반면 아래쪽에 위치한 스프링의 경우에는 각도가 감소하였다. 이 결과를 통해, 다중 굽힘 판 스프링의 복원력이 디스크 삽입의 진행의 반대방향에서 진행방향으로 바뀌는 것을 확인할 수 있다.

4.2 다중 굽힘 판 스프링의 수직 강성

다중 굽힘 판 스프링의 복원력의 크기는 스프링의 수직 강성에 영향을 받는다. Fig. 9는 디스크 변위에 따른 접촉지점에서의 다중 굽힘 판 스프링의 수직 강성을 나타낸다. 수직 강성은 접촉지점에서

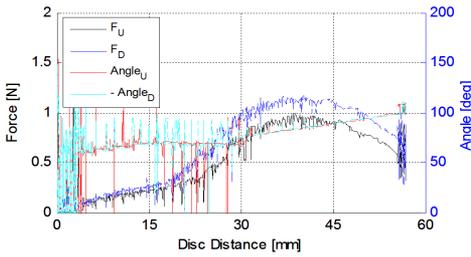


Fig. 8 Applied force and angle of the upper and lower multi-bent leaf springs by the disc

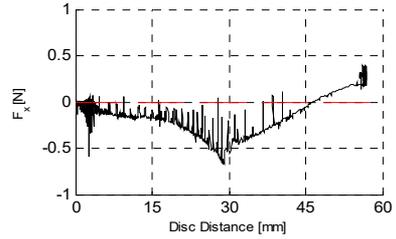


Fig. 10 Total applied restoring force to the disc on the x-axis

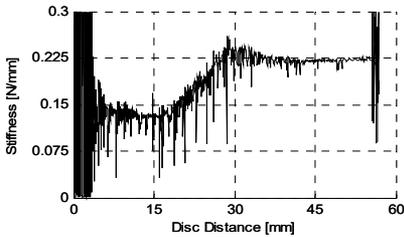


Fig. 9 Vertical stiffness of the multi-bent leaf spring in disc insertion

디스크로부터 받는 힘과 고정지점에서 두 번째에 위치한 굽힘 부분의 수직 변형량을 통해 계산하였다.

이 결과를 통해 디스크 변위에 따른 수직 강성은 크게 두 부분으로 나눌 수 있다. 디스크가 다중 굽힘 판 스프링에 처음 접촉한 후에 30 mm까지 이동하는 구간에서 수직 강성은 증가하였다. 이 구간에서 디스크는 스프링의 직선의 보 부분과 접촉해 있다. 따라서 디스크가 이동할수록 스프링의 고정지점부터 접촉지점까지의 거리가 감소하게 되고, 짧아진 거리로 인하여 수직 강성이 증가하게 된다. 반면에 디스크의 변위가 30 mm부터 보관장소까지 이동하는 구간에서는 수직 강성이 약 0.225 N/mm의 크기로 수렴하였다. 이 구간에서 디스크는 스프링의 굽힘 부분과 접촉해 있기 때문에, 디스크의 변위가 증가해도 접촉지점은 거의 이동이 없다. 따라서 고정지점부터 접촉지점까지의 거리가 거의 일정하게 되어 수직 강성이 수렴되는 것을 알 수 있다.

4.3 디스크의 동적 특성

디스크가 위와 아래에 위치한 다중 굽힘 판 스프링에 의해 받는 힘은 복원력과 마찰력이 있다. 복원력과 마찰력은 모두 디스크와 스프링의 접촉지점에

서 작용한다. 이 연구에서 x축을 디스크 삽입되는 진행방향으로 선정하였고, 디스크의 작용하는 전체 힘의 총 합을 x축 성분과, y축 성분으로 나누었다. 이 때, 스프링이 위와 아래에 위치하고 있어 y축 성분의 힘은 상쇄된다. 따라서 디스크 삽입 상태에서의 디스크의 동적 특성을 분석하기 위하여, 디스크에 작용하는 x축 성분의 힘을 고려해야 한다. Fig. 10은 디스크 변위에 따른 x축 성분의 힘을 나타낸다.

다중 굽힘 판 스프링이 디스크에 작용하는 x축 성분의 힘이 음수일 때와 양수일 때, 디스크의 동적 특성은 크게 달라지게 된다. 디스크 변위가 0 mm에서 46.5 mm 구간일 때, 디스크에 작용하는 x축 성분의 힘이 음수였다. 이 때, 디스크는 진행방향의 반대로 힘을 받지만 이송 로봇이 디스크를 밀어주어 디스크는 일정한 속도로 삽입되었다. 반면 디스크의 변위가 46.5 mm 이상으로 x축 성분의 힘이 양수가 되면, 이송 로봇이 더 이상 디스크를 밀어주지 않아도 다중 굽힘 판 스프링에 의해 디스크가 보관장소로 삽입되었다.

이 결과를 통해 이송 로봇이 디스크를 46.5 mm 이하로 밀어주게 되면, 삽입 진행방향의 반대방향으로 작용하는 스프링의 복원력으로 인해 디스크가 보관장소로 삽입되지 못하는 것을 확인할 수 있다. 이로 인해, 다른 디스크의 수송 방해와 정보 손실 등이 발생할 수 있다. 따라서 디스크의 삽입성능을 향상시키기 위해, x축 성분이 양수가 되는 시점이 빨라지도록 다중 굽힘 판 스프링을 설계해야 한다.

5. 결 론

이 연구에서는 각 부품의 동특성과 다중 굽힘 판 스프링의 수직 강성, 디스크의 동적 응답을 고려하

여 광 디스크 아카이브 시스템의 디스크 삽입을 분석할 수 있는 시간이력해석 모델을 구축하였고, 디스크 삽입 상태에서 시간에 따른 디스크의 변위와 접촉지점에서 발생하는 스프링의 복원력을 해석하였다. 이를 통해 디스크와 스프링의 접촉지점 이동에 따른 다중 굽힘 판 스프링의 복원력의 변화를 확인하였고, 디스크가 삽입되면서 수직 강성이 증가하다가 일정 크기로 수렴되는 것을 알 수 있었다. 해석 결과를 통해 이송 로봇이 디스크를 46.5 mm 이하로 밀어주게 되면, 디스크가 보관장소로 삽입되지 못하는 것을 확인하였고, 이는 디스크의 삽입을 결정하는 주요 원인이 디스크에 작용하는 x축 성분의 힘이 양수가 되는 시점이라는 것을 알 수 있었다. 이로 인해 디스크의 삽입성능 향상을 위해 다중 굽힘 판 스프링의 설계 목표를 제시하였다.

후 기

이 논문은 2015년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No. 2015R1A5A1037668).

References

(1) Shenggang, W., Cao, Q. and Xie, C., 2014, Optical Storage: An Emerging Option in Long-Term Digital Preservation, *Frontiers of Optoelectronics*, Vol. 7, No. 4, pp. 486-492.

(2) Oh, W., Park, N. C., Park, Y. P. and Yoo, S., 2016, Structural Modification of a Blu-ray Type Archiving System for High-speed Transportation, *Microsystem Technologies*, Vol. 22, No. 6, pp. 1325-1335.

(3) Choi, M. H., Kang, H. S., Yoon, K. H. and Song, K. N., 2003, An Experimental Study on the Vibration of the PWR Fuel Rod Supported by the Side-slotted Plate Springs, *Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering*, Vol. 13,

No. 10, pp. 798-804.

(4) Jeon, J. W., Kim, J. M., Lee, Y. H. and Lee, D. Y., 2014, A Double-bent Planar Leaf Flexure Guide for a Nano-Scanner: Experimental Report, *Journal of the Korean Physical Society*, Vol. 65, No. 9, pp. 1493-1495.

(5) Shan, S., Kang, S. H., Raney, J. R., Wang, P., Fang, L. et al., 2015, Multistable Architected Materials for Trapping Elastic Strain Energy, *Advanced Materials*, Vol. 27, pp. 4296-4301.

(6) Nguyen, N. H., Lee, M. Y., Kim, J. S. and Lee, D. Y., 2015, Compliance Matrix of a Single-bent Leaf Flexure for a Modal Analysis, *Shock and Vibration*, DOI : dx.doi.org/10.1155/2015/672831.

(7) Nguyen, N. H., Lim, B. D. and Lee, D. Y., 2015, Displacement Analysis of a Single-bent Leaf Flexure under Transverse Load, *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing*, Vol. 16, No. 4, pp. 749-754.



Joo Young Yoon received a B.S. degree in Dept. of Mechanical Engineering from Yonsei University in 2013. He is currently in an integrated M.S. and Ph.D. candidate at the same department. His research interests include the mechanical vibration and dynamics.



No-Cheol Park received a B.S., M.S. and Ph.D. degree in Dept. of Mechanical Engineering from Yonsei University in 1986, 1988 and 1997 respectively. He is currently working in Yonsei University as a professor of the Mechanical Engineering. His research interests include the mechanical vibration and opto-mechanics system.